

Wo lebt es sich am sichersten? Strukturgleichungsmodell des Verkehrsunfallrisikos in Niedersachsen

Faller, Inga; Scheiner, Joachim

Veröffentlichungsversion / Published Version
Zeitschriftenartikel / journal article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Faller, I., & Scheiner, J. (2020). Wo lebt es sich am sichersten? Strukturgleichungsmodell des Verkehrsunfallrisikos in Niedersachsen. *Stadtforschung und Statistik : Zeitschrift des Verbandes Deutscher Städtestatistiker*, 33(2), 9-14. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-69878-1>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY-NC-ND Lizenz (Namensnennung-Nicht-kommerziell-Keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>

Terms of use:

This document is made available under a CC BY-NC-ND Licence (Attribution-Non Commercial-NoDerivatives). For more information see:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

Wo lebt es sich am sichersten?

Strukturgleichungsmodell des Verkehrsunfallrisikos in Niedersachsen

Die Analysen dieses Beitrags beruhen auf Verkehrsunfalldaten Niedersachsens aus den Jahren 2006–2013. Neben Wohn- und Unfallpostleitzahlgebiet der Verunglückten sind Angaben zur Unfallschwere, Alter, Geschlecht sowie Verkehrsbeteiligungsart vorhanden. Die hier vorgenommenen Untersuchungen basieren räumlich auf den Wohnorten der Unfallopfer, nicht wie sonst üblich den Unfallorten.

In einer ersten Untersuchung sind bereits starke Unterschiede in der räumlichen Verteilung der Verkehrsunfallrisiken festgestellt worden. Dieser Beitrag versucht die Frage zu beantworten, welche Faktoren für diese Abweichung verantwortlich sind.

Die bisherige Literatur weist auf eine Vielzahl möglicher Faktoren hin, die Verkehrsunfälle beeinflussen. Dieser Beitrag berücksichtigt ein größeres Set an Einflussgrößen als bisherige Untersuchungen und versucht damit das komplexe Zusammenwirken zwischen soziodemografischen Daten, Mobilität, Raumstruktur und Verkehrssicherheit simultan in einem Modell, dem sogenannten Strukturgleichungsmodell, darzustellen.

Dabei zeigt sich, dass für die Bevölkerung von Orten mit einem höheren Pendelaufwand, einem stärker ausgebauten Straßennetz sowie einer dispersen Siedlungsstruktur höhere Risiken bestehen.

Dipl.-Stat. Inga Faller

wiss. Mitarbeiterin am Fachgebiet Verkehrswesen und Verkehrsplanung an der Fakultät Raumplanung der TU Dortmund

 inga.faller@tu-dortmund.de

Prof. Dr. Joachim Scheiner

außerplanmäßiger Professor des Fachgebiets Verkehrswesen und Verkehrsplanung der Fakultät Raumplanung der TU Dortmund

 joachim.scheiner@tu-dortmund.de

Schlüsselwörter:

Strukturgleichungsmodell – Unfallrisiko – Verkehrssicherheit – Wohnstandort

Einleitung

Durch regulative Maßnahmen wie Tempolimits, Gurtpflicht und die Promillegrenze sowie technische Entwicklungen im Automobilsektor (Airbag, ABS, etc.) ist die Zahl der Verkehrsunfalltoten seit 1970 bundesweit trotz der Wiedervereinigung um 84 % zurückgegangen (Statistisches Bundesamt (Destatis) 12.07.2016: 7). Dieser Rückgang setzt sich in den letzten Jahren jedoch nur noch sehr gebremst fort. Jährlich kommen etwa 3.000 bis 3.300 Menschen in Deutschland bei Verkehrsunfällen ums Leben.

Die Einflussfaktoren von Verkehrsunfallrisiken können dabei nur teilweise als verstanden gelten. Eine besondere Problematik ergibt sich daraus, dass die von Menschen getroffenen individuellen Standortentscheidungen (Wohnen, Arbeiten...) aufgrund der hiermit verbundenen unterschiedlichen Formen und Ausmaße von Alltagsmobilität auch mit unterschiedlichen Verkehrsunfallrisiken verbunden sind. Verkehrsunfallanalysen werden jedoch üblicherweise räumlich anhand des Unfallortes differenziert, um Charakteristika gefährlicher Stellen im Straßennetz zu identifizieren. Diese Vorgehensweise erlaubt es jedoch nicht, die unterschiedlichen Risiken zu ermitteln, denen Menschen sich mit ihren räumlichen Entscheidungen, z.B. über den gewählten Wohnstandort und die damit verbundene Mobilität, aussetzen. Auch die Aggregation von Verkehrsunfällen z.B. auf die Gemeindeebene stellt hier keine Lösung dar, weil unter den in einer Gemeinde Verunglückten auch Ortsfremde sind (z.B. Einpendler), während die in einer Gemeinde lebenden Personen auch in anderen Gemeinden verunglücken können (z.B. als Auspendler). Die entsprechenden Kennziffern werden als *Unfallbelastungen* bezeichnet (Zahl der in einer Gemeinde Verunglückten je 100.000 Einwohner – unabhängig davon, wo die Verunglückten leben).

Die hier präsentierten Untersuchungen basieren dagegen räumlich auf den Wohnorten der Unfallopfer, nicht wie sonst üblich den Unfallorten. Dies erlaubt nicht die Identifikation von Unfallschwerpunkten und ihren Charakteristika, stattdessen aber die Ermittlung besonders gefährdeter Bevölkerungsgruppen, die mit unterschiedlichen Ausprägungen von Mobilität (z.B. starke Pkw-Nutzung und lange Wege in suburbanen und ländlichen Räumen) und damit auch unterschiedlichen Risikoexpositionen verbunden sind. Dies ist mit unfallortbezogenen Betrachtungen nicht möglich. Entsprechende Kennziffern (Zahl der Verunglückten Bewohner einer

Gemeinde je 100.000 Einwohner, unabhängig vom Unfallort) werden als *Unfallrisiken* bezeichnet.

Die gegenüber den sehr wenigen früheren derartigen Studien aus Deutschland (Holz-Rau und Scheiner 2009, 2010, 2013; Scheiner und Holz-Rau 2011) größere Verlässlichkeit einer längeren Zeitreihe erlaubt die Berücksichtigung eines größeren Sets an Einflussgrößen und ihres Zusammenwirkens. Hierfür wurden sozioökonomische, demografische, expositions- und raumstrukturelle Daten beschafft, aufbereitet und mit den Verkehrsunfalldaten verknüpft.

Aufbauend auf ersten deskriptiven Untersuchungen der niedersächsischen Unfallrisiken (Faller et al. 2020) wird in diesem Beitrag das komplexe Zusammenwirken einer Vielzahl möglicher Einflussgrößen einschließlich möglicher Abhängigkeiten zwischen ihnen berücksichtigt. Hierfür kommen multivariate Mehrgleichungsmodelle, sogenannte lineare Strukturgleichungsmodelle, zum Einsatz. Als untersuchte Zielvariable dient dabei ein nach Unfallschwere gewichteter Indikator.

Stand der Forschung

Zahlreiche Studien zu Unfallbelastungen konzentrieren sich auf die räumliche Differenzierung von Verkehrsunfällen (Meeuwes 1984; Apel et al. 1988; Becker et al. 1992). Dabei kamen sowohl Apel et al. (1988) als auch Becker et al. (1992) zu dem Ergebnis, dass sich in kompakten, dichten Städten weniger schwere und tödliche Unfälle ereignen.

Jüngere Studien weisen auf höhere Unfallbelastungen in der Großstadt hin (Chen et al. 2009; Neumann-Opitz et al. 2012; Klein und Löffler 2001), auch speziell für Kinder (Neumann-Opitz et al. 2012). Allerdings wird dabei nicht nach der Schwere der Personenschäden differenziert, so dass die hohen Belastungen zum Großteil aus der Vielzahl an Unfällen mit Leichtverletzten resultieren.

Zu ganz anderen Ergebnissen gelangen Untersuchungen, die zum einen nach der Unfallschwere unterscheiden und zum anderen das *Unfallrisiko* heranziehen. Dabei wird festgestellt, dass für Bewohner von Großstädten das Risiko schwerer oder tödlicher Verletzungen besonders gering ist (für die USA z.B. Clark 2003; Zwerling et al. 2005). Auch nationale Studien belegen, dass mit der Urbanität geringere Risiken eines schweren Unfalls verbunden sind (Apel et al. 1988; Holz-Rau und Scheiner 2009, 2010, 2013; Scheiner und Holz-Rau 2011; Becker et al. 1992).

Der vorliegende Beitrag vertieft frühere deskriptive Auswertungen (Faller et al. 2020), welche die bekannten höheren Risiken von Männern, jungen Erwachsenen und älteren Verkehrsteilnehmern bestätigen. Unter Berücksichtigung der Verkehrsmittel treten für verschiedene Altersgruppen und Geschlechter jedoch unterschiedliche Charakteristika auf.

Das Ziel der jetzigen Untersuchung liegt in der Identifikation von Einflussfaktoren, die mögliche Erklärungen für die Unterschiede in den Verkehrsunfallrisiken liefern können. Solche Einflussvariablen werden im Allgemeinen definiert durch Faktoren der Risikoexposition, der räumlichen und zeitlichen Umwelt sowie sozialer und psychologischer Faktoren (Elvik et al. 2009).

Zur Risikoexposition tragen unter anderem die Verkehrsmittelnutzung, die im Verkehr verbrachte Zeit, die zurückge-

legten Distanzen und die Fahrgeschwindigkeiten bei (Petch und Henson 2000; Ewing et al. 2003; Dumbaugh und Rae 2009; Apel et al. 1988; Schüller 2011; Elvik et al. 2019 mit Fokus auf tödliche Unfälle auf Brücken; Lee und Abdel-Aty 2005; Gärder 2004).

Zu den Umweltfaktoren zählen das räumliche Umfeld (z.B. Dichte, Flächennutzung), der zeitliche Kontext (z.B. Dunkelheit, Witterung) und der verkehrliche Kontext (z.B. Verkehrsdichte, Geschwindigkeit und Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer, Zusammensetzung des Verkehrs, Zustand des Straßennetzes, Straßentyp, Straßendesign).

Ein stark ausgebautes Straßennetz sowie hohe Anteile von Hauptverkehrsstraßen am Straßennetz erweisen sich dabei als wesentliche Faktoren für höhere Unfallbelastungen (Apel et al. 1988; Becker et al. 1992). Zudem bringt ein höherer Motorisierungsgrad einen höheren Anteil des motorisierten Individualverkehrs mit sich, wodurch höhere Unfallbelastungen auftreten (Apel et al. 1988). Dahingegen sind bei höheren Radverkehrsanteilen geringere Unfallzahlen zu beobachten (Vandenbulcke et al. 2009; für Fußgänger: Jacobsen 2003; Leden 2002), was die Autoren darauf zurückführen, dass Pkw-Fahrer dann besonders umsichtig fahren. Untersuchungen in Deutschland können keinen nennenswerten „Safety in Numbers“-Effekt nachweisen (Holz-Rau et al. 2020), oder machen sogar eine gegenteilige Beobachtung – steigende Unfallbelastungen mit steigendem Radverkehrsanteil (Becker et al. 1992).

Soziale und psychologische Faktoren beinhalten sowohl soziodemographische Merkmale als auch Risikoeinstellungen und Lebensstile. Neben älteren Verkehrsteilnehmern stellen junge Fahrer und insbesondere junge Männer die am stärksten gefährdeten Gruppen im Straßenverkehr dar. Während sich bei älteren Menschen die sensorische, geistige und motorische Leistungsfähigkeit verschlechtert, liegen die Gründe für das erhöhte Risiko bei jungen Erwachsenen in Faktoren wie Disco- und Nachtfahrten, Mutproben und Selbstüberschätzungen bei gleichzeitiger Unerfahrenheit, Überforderung in komplexen Verkehrssituationen, unzureichender Fahrroutine und mangelnder Fähigkeit zum vorausschauenden Fahren (Gehlert 2011: 238; Schulze 1999; Kroj und Schulze 2017).

Die sozioökonomische Lebenslage weist ebenfalls einen Einfluss auf Verkehrsunfälle auf. So fallen die Unfallrisiken bzw. -belastungen in sozial deprivierten Vierteln höher aus als in wohlhabenden (Abdalla et al. 1997; Petch und Henson 2000; Noland und Quddus 2004; Edwards et al. 2006; Hewson 2004; Laflamme und Diderichsen 2000). Mögliche Ursachen hierfür werden in den häufigeren preiswerten, älteren Fahrzeugen mit geringen Sicherheitsstandards vermutet (Noland und Quddus 2004) sowie in einer geringeren Motorisierung ärmerer Haushalte, so dass das zu Fuß gehen oder auch die Nutzung des Fahrrads weiter verbreitet sind (Delmelle et al. 2012). Die wenigen Untersuchungen für Deutschland fokussieren dabei auf Kinder und Jugendliche und stellen fest, dass Kinder aus Familien mit niedrigem Sozialstatus signifikant häufiger Verkehrsunfälle erleiden als Kinder aus Familien mit hohem Sozialstatus (Kahl et al. 2007; Ellsäcker et al. 2002).

Wie man sieht, werden Verkehrsunfälle von einer Vielzahl möglicher Faktoren beeinflusst. Viele Studien untersuchen nur einzelne Faktoren wie die Geschwindigkeit oder das Verkehrs-

aufkommen. Dieser Beitrag hingegen nutzt ein größeres Set an Einflussgrößen und versucht das komplexe Zusammenwirken dieser Variablen und ihrer Abhängigkeiten simultan in einem Modell darzustellen.

Datengrundlage

Die in diesem Beitrag vorgestellten Analysen basieren auf den unveröffentlichten polizeilich aufgenommenen Verkehrsunfalldaten Niedersachsens. Diese sind vom Niedersächsischen Ministerium für Inneres und Sport/Landespolizeipräsidium für die Jahre 2006–2013 zur Verfügung gestellt worden. Die Daten umfassen die Verunglückten, gegliedert nach Verletzungsschwere, Alter, Geschlecht und Art der Verkehrsbeteiligung. Eine räumliche Differenzierung kann zum einen nach dem Postleitzahlgebiet (PLZ) des Wohnortes und zum anderen auch nach dem PLZ-Gebiet des Unfallortes vorgenommen werden. Nach einer Bereinigung der Daten können noch 291.637 Fälle für die Analyse berücksichtigt werden.

Die Untersuchung möglicher Einflussgrößen macht die Nutzung weiterer Quellen zur Beschaffung von sozioökonomischen, demografischen, expositions- und raumstrukturellen Daten unumgänglich. Dafür sind demografische Merkmale den Datenbanken des Statistischen Bundesamtes und des Landesamtes für Statistik Niedersachsen entnommen worden. Da auf der Ebene der PLZ-Gebiete keine expositionsbezogenen Daten zum Verkehrsverhalten existieren, ist stattdessen eine Approximation über zwei andere Merkmale vorgenommen worden: zum einen der Motorisierungsgrad, welcher aus den Fahrzeugzulassungen des Kraftfahrtbundesamtes ermittelt wurde. Zum anderen ist die durchschnittliche Pendeldistanz der in einer Gemeinde wohnenden Erwerbstätigen verwendet worden, die der Dissertation von Dennis Guth aus dem Jahre 2013 entstammen (Guth 2013).

Die erforderlichen Strukturdaten für das Land Niedersachsen des Statistischen Bundesamtes und der Landesdatenbank LSN Online liegen in der Regel auf der Gemeindeebene vor. Darunter befinden sich Informationen bezüglich der Fläche und der Besiedlungsdichte, der Bevölkerungszahlen nach Alter und Geschlecht sowie Informationen zu Ein- und Auspendlerzahlen (ohne Pendeldistanzen) und Erwerbstätigen einer Gemeinde.

Sozioökonomische Informationen sind für die Gemeinden Niedersachsens nur sehr eingeschränkt vorhanden, weshalb lediglich auf die Arbeitslosenzahlen zurückgegriffen werden konnte.

Zur Untersuchung möglicher raumstruktureller Einflussfaktoren werden Informationen über das Straßennetz benötigt, welche aus Open Street Map ermittelt werden. Da sich der Großteil des Verkehrs auf den Hauptverkehrsstraßen abspielt, wird das Hauptverkehrsstraßennetz je PLZ-Gebiet ermittelt. Zudem wurde das Straßennetz nach innerorts/außerorts differenziert.

Um diese Informationen den Unfalldaten zuspiegeln zu können, ist eine weitere Bearbeitung der Unfalldaten notwendig. Auf der einen Seite beinhalten die in Niedersachsen vorhandenen PLZ-Gebiete zum Teil mehrere kleine Gemeinden, so dass diese PLZ-Gebiete zusammengefasst wurden. Auf der anderen Seite bestehen große Gemeinden aus einer Vielzahl

von PLZ-Gebieten, die zu einer Gemeinde zusammengefasst wurden. Somit wird mit insgesamt 680 Gebieten weitergearbeitet (i. d. R. Gemeinden).

Neben der Bildung verschiedener Strukturgleichungsmodelle für verschiedene Unfallschweregrade kann alternativ eine gewichtete Berücksichtigung aller Schweregrade in einer Kennzahl vorgenommen werden. Dafür werden die Anzahl der Leichtverletzten mit dem Faktor 5.139 €, die Anzahl der Schwerverletzten mit 123.510 € und die Anzahl der Getöteten mit dem Faktor 1.191.937 € gewichtet und aufsummiert. Die Gewichtung der einzelnen Schweregrade basiert auf den Angaben zu volkswirtschaftlichen Verlusten durch Straßenverkehrsunfälle aus dem Jahr 2015 (Bundesanstalt für Straßenwesen 2019). Der Mittelwert der gewichteten Anzahl an Verunglückten für die Jahre 2006 bis 2013 wird durch die Anzahl der Einwohner dividiert und als zentrale Risikokennziffer der weiteren Analyse verwendet.

Methodik

Eine einfache deskriptive Untersuchung der Verkehrsunfalldaten reicht nicht aus, wenn kausale Zusammenhänge zwischen verschiedenen Einflussfaktoren aufgedeckt werden sollen. Daher sollen statistische Modelle genutzt werden, die den zugrundeliegenden Sachverhalt näherungsweise beschreiben. Eine grundlegende Voraussetzung liegt in theoretisch begründeten Vermutungen von Zusammenhängen der untersuchten Tatbestände¹. Das bekannteste und vermutlich am häufigsten genutzte Verfahren stellt hier die multiple lineare Regression dar. Allerdings können theoretisch begründete Hypothesen, die miteinander verbunden sind, damit nicht untersucht werden, da Einflussvariablen, die ihrerseits von anderen Einflussvariablen abhängig sind, und Multikollinearität (korrelierende Einflussvariablen) nicht zugelassen sind. Einen möglichen Ausweg zur Untersuchung eines ganzen Hypothesensystems stellt das Strukturgleichungsmodell (SEM) dar.

Wie schon bei Regressionen üblich, ist der Ausgangspunkt die Ursache-Wirkungs-Vermutung zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen, deren Beziehung mittels Regressionsgleichungen spezifiziert werden. Dabei bedingen die Einflüsse der unabhängigen Variablen eine Veränderung in der abhängigen Variable, wobei diese zusätzlich von Störeinflüssen abhängig sein kann. Da in diesem Beitrag alle Variablen empirisch direkt gemessen werden können (manifeste Variablen) und ein metrisches Niveau aufweisen, kann das mathematische Modell mit Hilfe der Pfadanalyse abgebildet werden. Die Überprüfung der Modellaufstellung erfolgt mittels der Nutzung der Kovarianzen bzw. Korrelationen zwischen den Variablen (Weiber und Mühlhaus 2014: 26).

Die Modellschätzung ist mit Hilfe von IBM AMOS durchgeführt worden unter Verwendung des Maximum-Likelihood(ML)-Schätzverfahrens. Eine der wichtigsten Voraussetzungen stellt dabei die Annahme der multivariat normalverteilten manifesten Variablen dar. In der Realität liegt die multivariate Normalverteilung nicht immer vor, was ein Ausweichen auf andere Schätzverfahren nötig macht. Allerdings haben Simulationsstudien gezeigt, dass die ML-Methode bei großer Stichprobe trotz einer Verletzung der Annahme

multinormalverteilter Daten robuste Schätzer produziert (Reinecke 2005).

Die Überprüfung der Modellergebnisse erfolgt im Anschluss an das Aufstellen des endgültigen SEM anhand diverser Gütekriterien, auf die im Rahmen dieses Aufsatzes nicht näher eingegangen wird. Es soll aber zumindest darauf hingewiesen werden, dass von neun überprüften Kriterien acht die empfohlenen Schwellenwerte einhalten. Lediglich der p-Wert des Modells weicht mit einem Wert von 0,858 von der empfohlenen Grenze von >0,9 leicht ab.

Alles in allem ermöglicht das Verfahren somit die Modellierung komplexer Beziehungen zwischen soziodemografischen Daten, Mobilität, Raumstruktur und Verkehrssicherheit.

Ergebnisse

Ein Modell ist umso informativer, je sparsamer es gestaltet wird. Daher werden bei der Demografie lediglich die beiden am meisten gefährdeten und eventuell auch gefährdenden Altersgruppen der jungen Erwachsenen (Anteil der 18–24-Jährigen an Wohnortbevölkerung) sowie der älteren Menschen (Anteil der über-85-Jährigen an Wohnortbevölkerung) berücksichtigt.

Als sozioökonomische Einflüsse werden der Anteil der Arbeitslosen je Einwohner der Wohngemeinde sowie der Anteil der Erwerbstätigen am Wohnort je Einwohner verwendet.

Daten zur Verkehrsnachfrage, welche zur Modellierung der Risikoexposition herangezogen werden könnten, liegen auf der Ebene von PLZ-Gebieten bedauerlicherweise nicht vor. Daher wird zum einen auf den Motorisierungsgrad (Kraftfahrzeuge je Einwohner) und zum anderen auf die durchschnittliche Pendeldistanz der Erwerbstätigen zurückgegriffen. Ein weiterer Faktor, der der Risikoexposition zugeordnet werden kann und im Modell berücksichtigt wird, ist die Zahl der Auspendler je Einwohner.

Zu den untersuchten Umwelteinflüssen zählt unter anderem die Urbanität, die hier durch die Bevölkerungsdichte (Einwohner je km²) abgebildet wird. Zudem werden die Straßennetzlänge (Straßenkilometer des gesamten Hauptverkehrsstraßennetzes je Einwohner) und der Anteil der Innerortsstraßen (Anteil des Innerortshauptverkehrsstraßennetzes am gesamten Hauptverkehrsstraßennetz) im Modell aufgenommen.

Bei der Bildung des Modells werden nicht nur die Einflüsse der untersuchten Variablen auf die Unfallkosten unterstellt, sondern auch Beziehungen zwischen den einzelnen Faktoren vermutet. So wird davon ausgegangen, dass die Urbanität sowohl auf sozio-demographische Variablen wie die Altersverteilung oder den Arbeitslosenanteil als auch auf die Pendlerzahlen, das Straßennetz und die Motorisierung Einfluss nimmt. Andererseits kann gemutmaßt werden, dass sowohl die Altersverteilung als auch der Anteil der Arbeitslosen, die Zahl der Auspendler oder die Verkehrsinfrastruktur exogen zum Motorisierungsgrad sind, d. h. dass der Motorisierungsgrad von diesen Größen abhängt. Gleichzeitig könnte sich die Verteilung der Altersgruppen auch exogen gegenüber den Pendlerzahlen, der Zahl der Arbeitslosen bzw. Erwerbstätigen verhalten. Zudem sind Beziehungen zwischen Arbeitslosen,

Erwerbstätigen, Auspendlern und der durchschnittlichen Pendeldistanz vorstellbar.

Das entwickelte Modell (Abbildung 1) beinhaltet somit insgesamt zehn Einflussvariablen, zwischen denen teilweise starke Zusammenhänge bestehen. So weist beispielsweise der hohe negative Koeffizient von -0,49 darauf hin, dass mit wachsender Bevölkerungsdichte eine stark sinkende Straßennetzlänge je Einwohner zu beobachten ist. Auch zwischen Bevölkerungsdichte und Motorisierungsgrad besteht ein signifikant negativer Zusammenhang, da in urbanen Umfeldern zum einen bessere ÖPNV-Angebote existieren und zum anderen viele Wege kurz sind. Dagegen resultiert ein höherer Motorisierungsgrad aus höheren Anteilen der Innerortsstraßen, höherer Gesamtstraßennetzlänge sowie höheren durchschnittlichen Pendeldistanzen.

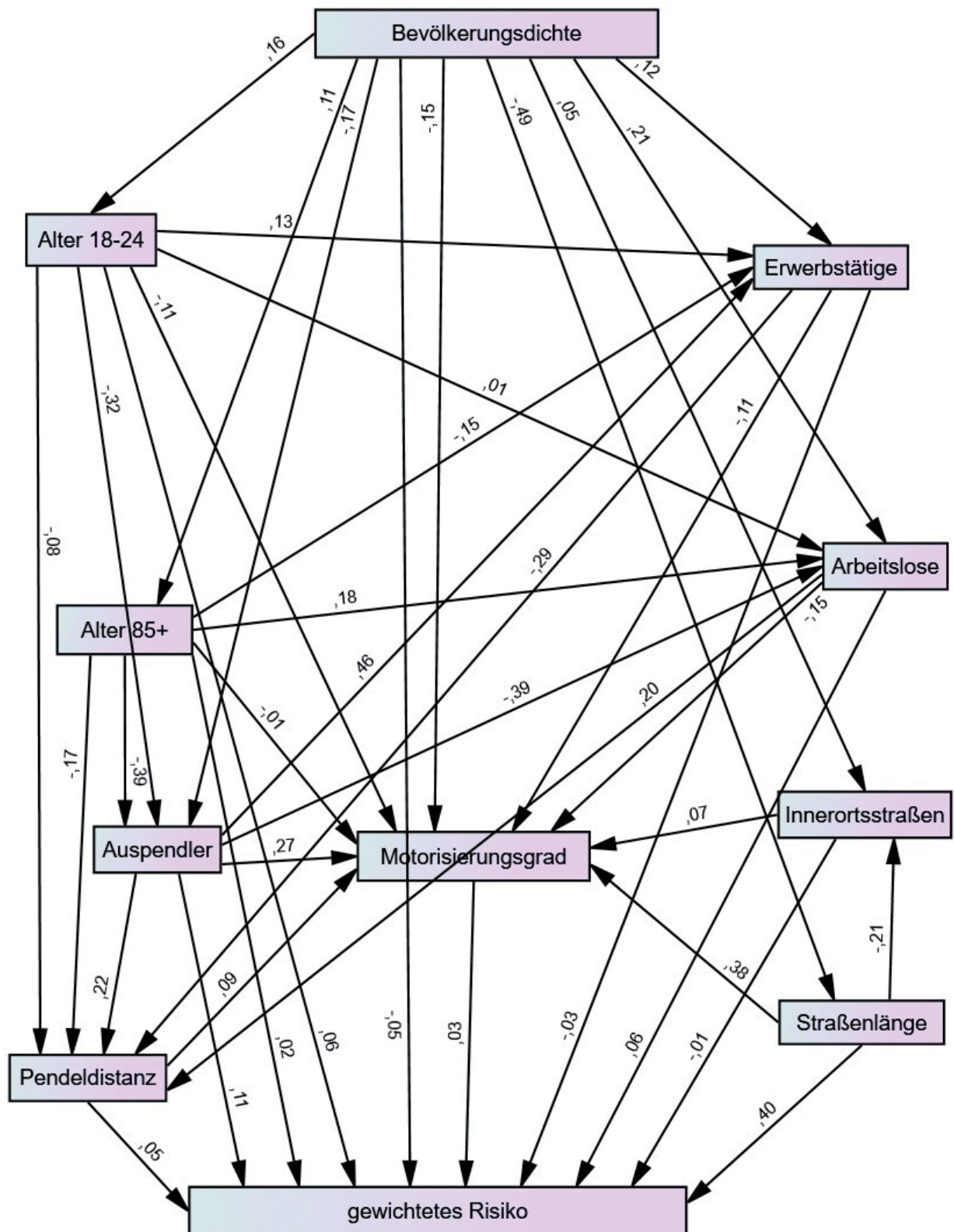
Daneben sind auch weitere Beziehungen im Modell ablesbar. Nun soll der Fokus allerdings auf den Abhängigkeiten zwischen den Einflussvariablen und dem gewichteten Unfallrisiko liegen. So ist zu beobachten, dass nur wenige der untersuchten Variablen einen nennenswert hohen Effekt auf das gewichtete Unfallrisiko aufweisen. Das abgebildete Modell bildet jedoch nur die Koeffizienten der direkten Effekte ab. In einigen Fällen wird der direkte Effekt zwischen einer Einflussvariablen und dem gewichteten Risiko durch den Einfluss weiterer Variablen – den Mediatorvariablen – beeinflusst (Urban und Mayerl 2018). Der gesamte Einfluss wird schließlich aus der Summe der direkten und aller indirekten Effekte gebildet. So berechnet sich beispielsweise der Gesamteffekt der Straßennetzlänge im Gesamtmodell als $0,39 + 0,38 \cdot 0,03 + (-0,21) \cdot (-0,01) \cdot 0,07 \cdot 0,03 = 0,4031$.

Tabelle 1 gibt für alle untersuchten Variablen die Koeffizienten der direkten, indirekten und totalen Effekte wider. Dabei werden die direkten Effekte zum Teil verstärkt, zum Teil aber durch die indirekten Effekte reduziert. Während zwischen der Bevölkerungsdichte und dem gewichteten Risiko kein signifikanter direkter Effekt nachgewiesen werden kann, sind der indirekte Effekt und damit der Gesamteffekt stark ausgeprägt.

Tabelle 1: Standardisierte totale, direkte und indirekte Effekte auf das gewichtete Unfallrisiko, mit * gekennzeichnete Werte sind zum Signifikanzniveau $\alpha=0,05$ signifikant

Variablen	Modell aller Gemeinden		
	Totaler Effekt	Direkter Effekt	Indirekter Effekt
Bevölkerungsdichte	*-0,256	-0,048	*-0,208
Alter 18-24	0,026	0,065	-0,039
Alter 85+	-0,001	0,022	-0,023
Auspendler	*0,081	*0,108	-0,028
Pendeldistanz	0,055	0,052	0,003
Innerortsstraßen	-0,007	-0,009	0,002
Straßenlänge	*0,413	*0,400	0,013
Beschäftigte	-0,047	-0,028	-0,019
Arbeitslose	0,067	0,061	0,006
Motorisierungsgrad	0,029	0,029	0,000

Abbildung 1: Modell der standardisierten, direkten Effekte zwischen den untersuchten Variablen und dem wohnortbezogenen gewichteten Risiko aller PLZ-Gebiete Niedersachsen je Person und Jahr, gekennzeichnete Koeffizienten sind mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner $\alpha = 0,05$ signifikant, $N = 680$, $R^2 = 0,21$



Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass der Einfluss der Urbanität über andere untersuchte Einflussfaktoren vermittelt wird, z. B. über die mit hoher Urbanität verbundene geringere Straßenlänge je Einwohner.

Unter Berücksichtigung aller Mediatorvariablen kann insgesamt unter den Gesamteffekten beobachtet werden, dass nur eine geringe Anzahl an Variablen einen starken Einfluss auf das gewichtete Unfallrisiko aufweisen. So scheinen steigende Bevölkerungsdichten das Unfallrisiko zu reduzieren, während steigende Auspendlerzahlen und insbesondere eine steigende Verkehrsfläche je Einwohner das Risiko erheblich erhöhen. Dabei repräsentieren diese drei Größen die Urbanität des Umfeldes, und zwar dergestalt, dass Gebiete mit einer hohen Dichte, mit geringeren Auspendlerzahlen je Einwohner und geringerer Verkehrsfläche je Einwohner hohe Urbanität besitzen.

Im Wesentlichen bildet dieses Modell also Stadt-Land-Unterschiede ab. Um diesen Effekt weitgehend zu eliminieren, ist das gleiche Modell auch speziell für kleinere Gemeinden bis zu 10.000 Einwohnern geschätzt worden. Sehr wünschenswert wäre ein ähnliches Vorgehen für Großstädte; dies würde jedoch ein bundeslandübergreifendes Sample größerer Städte voraussetzen. Doch auch bei Beschränkung auf kleine Gemeinden bleiben die gleichen Effekte von Bedeutung, so dass sich schlussfolgern lässt: hoher Pendelaufwand, ein stark ausgebautes Straßennetz und eine disperse Siedlungsstruktur erhöhen das Risiko eines Unfalls mit Personenschaden.

Zusammenfassung und Ausblick

Da verfügbare Unfalldaten in Deutschland die Wohnorte der Beteiligten nicht enthalten, sind wohnortbezogene Unfallrisiken bislang schwer ermittelbar, und es liegen kaum nationale Untersuchungen vor. International existieren, vermutlich aufgrund der besseren Datenlage, einige entsprechende Studien. Die hier verwendeten Daten Niedersachsens beinhalten die Wohnorte (PLZ-Gebiete) der Verunglückten der Jahre 2006-2013. Damit liegt eine genauere Untersuchung von Unfallrisiken differenziert nach Unfallschwere, Alter, Geschlecht sowie Verkehrsbeteiligungsart vor, als es bislang möglich war.

Die Ergebnisse der Analysen zeigen, dass durchaus starke Unterschiede in der räumlichen Verteilung der Verkehrsunfallrisiken existieren. Als wesentliche Indikatoren der höheren Risiken haben sich hierbei ein höherer Pendelaufwand, ein stärker ausgebautes Straßennetz sowie die disperse Siedlungsstruktur herausgestellt.

Dieser Beitrag konnte ebenso wenig wie vorherige Unfallforschungen alle relevanten Einflussfaktoren des Unfallrisikos aufdecken. Daher bleiben weitere Untersuchungen erforderlich. Zum einen könnten künftige Studien weitere Einflussfaktoren identifizieren (z. B. die Mobilitätskultur von Städten, die sozioökonomische Zusammensetzung der Bevölkerung, psychologische Faktoren wie Risikobereitschaft usw.). Zum anderen wäre es für einige Einflussfaktoren wichtig, den Detailgrad der Messung zu erhöhen. Beispielsweise konnte die Mobilität der örtlichen Bevölkerung hier nur über Pendlerverflechtungen und Motorisierungsgrad abgebildet werden. Bessere Messungen der Risikoexposition wären hier notwendig, einschließlich des einströmenden Verkehrs.

Im Rahmen eines DFG-Projekts werden gegenwärtig kleinräumliche Daten für die Region Hannover (Stadtteilebene) generiert, die den Daten zugespielt und in Strukturgleichungsmodelle eingebaut werden sollen. Dies betrifft sowohl Mobilitätsdaten der jeweils ansässigen Bevölkerung („Exposition durch Verkehrsteilnahme“) als auch Daten über den ein-, aus- und durchströmenden Verkehr in den Stadtteilen („Exposition durch Verkehrsbelastung“).

Detaillierte Betrachtungen nach Geschlecht, Altersgruppen und der Art der Verkehrsbeteiligung sowie kleinräumliche Differenzierungen in Stadtteile benötigen zudem eine Vielzahl an Unfalldaten, so dass ein längerer Zeitraum als die in diesem Projekt veranschlagten acht Untersuchungsjahre zu genaueren Analyseergebnissen führen können.

Der Beitrag beruht auf dem von der DFG geförderten Projekt „Räumliche Muster in Verkehrsunfallrisiken: wohnstandortbezogene Analysen“ (SCHE 1692/2-1). Wir danken des Weiteren dem Ministerium für Inneres und Sport und dem Landespolizeipräsidentium des Landes Niedersachsen für die Bereitstellung der unveröffentlichten Unfalldaten.

1 Unsere Analyse beruht auf Querschnittsdaten. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für Kausalität, nämlich dass Ursachen ihren Wirkungen zeitlich vorausgehen, nicht erfüllt. Die Kausalitätsannahmen, die wir für unser Modell treffen müssen, beruhen auf Plausibilitätsannahmen, z. B. dass die Pendeldistanzen oder die demografische Zusammensetzung einer Bevölkerung die Verkehrsunfallrisiken bedingen (nicht umgekehrt).

Literaturverzeichnis

- Abdalla, Ibrahim M.; Raeside, Robert; Barker, Derek; McGuigan, David R. D. (1997): An Investigation Into the Relationships Between Area Social Characteristics and Road Accident Casualties. In: *Accident Analysis and Prevention* 29 (5), S. 583–593.
- Apel, Dieter; Kolleck, Bernd; Lehmbrock, Michael (Hg.) (1988): Stadtverkehrsplanung Teil 4: Verkehrssicherheit im Städtevergleich. Stadt- und verkehrsstrukturelle Einflüsse auf die Unfallbelastung. Deutsches Institut für Urbanistik. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik.
- Becker, Udo; Cerwenka, Peter; Matthes, Ulrike; Riedel, Wolfgang (1992): Vergleich der Verkehrssicherheit von Städten. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach. Bundesanstalt für Straßenwesen (2019): Volkswirtschaftliche Kosten von Straßenverkehrsunfällen in Deutschland. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach. Online verfügbar unter https://www.bast.de/DE/Statistik/Unfaelle/volkswirtschaftliche_kosten.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D9, zuletzt aktualisiert am Februar 2019, zuletzt geprüft am 15.04.2019.
- Chen, H. Y.; Ivers, R. Q.; Martiniuk, A. L. C.; Boufous, S.; Senserrick, T.; Woodward, M. et al. (2009): Risk and type of crash among young drivers by rurality of residence: findings from the DRIVE Study. In: *Accident Analysis and Prevention* 41 (4), S. 676–682. DOI: 10.1016/j.aap.2009.03.005.
- Clark, David E. (2003): Effekt of population density on mortality after motor vehicle collisions. In: *Accident Analysis and Prevention* 35, S. 965–971.
- Delmelle, Elizabeth Cahill; Thill, Jean-Claude; Ha, Hoe-Hun (2012): Spatial epidemiologic analysis of relative collision risk factors among urban bicyclists and pedestrians. In: *Transportation* 39 (2), S. 433–448. DOI: 10.1007/s11116-011-9363-8.
- Dumbaugh, Eric; Rae, Robert (2009): Safe Urban Form: Revisiting the Relationship Between Community Design and Traffic Safety. In: *Journal of the American Planning Association* 75 (3), S. 309–329. DOI: 10.1080/01944360902950349.
- Edwards, Phil; Green, Judith; Roberts, Ian; Grundy, Chris; Lachowycz, Kate (2006): Deprivation and Road Safety in London. A report to the London Road Safety Unit. London. Hg. v. London School of Hygiene and Tropical Medicine.
- Ellsäßer, G.; Böhm, A.; Kuhn, J.; Lüdecke, K.; Rojas, G. (2002): Soziale Ungleichheit und Gesundheit bei Kindern. Ergebnisse und Konsequenzen aus den Brandenburger Einschulungsuntersuchungen. In: *Kinderärztliche Praxis* 73, S. 248–257.
- Elvik, R.; Høy, A.; Vaa, T.; Sørensen, M. (2009): The handbook of road safety measures. 2nd ed. Bingley: Emerald.
- Elvik, Rune; Sagberg, Fridulv; Langeland, Per Andreas (2019): An analysis of factors influencing accidents on road bridges in Norway. In: *Accident; analysis and prevention* 129, S. 1–6. DOI: 10.1016/j.aap.2019.05.002.
- Ewing, Reid; Schieber, Richard A.; Zegeer, Charles V. (2003): Urban sprawl as a risk factor in motor vehicle occupant and pedestrian fatalities. In: *American Journal of Public Health* 93 (9), S. 1541–1545. DOI: 10.2105/AJPH.93.9.1541.
- Faller, Inga; Holz-Rau, Christian; Scheiner, Joachim (2020): Verkehrsunfallrisiken der Bevölkerung von Niedersachsen. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 66 (1), S. 7–17.
- Gärder, Per E. (2004): The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine. In: *Accident Analysis & Prevention* 36 (4), S. 533–542. DOI: 10.1016/S0001-4575(03)00059-9.
- Gehlert, Tina (2011): Verkehrssicherheit. In: Oliver Schwedes (Hg.): Verkehrspolitik. Eine interdisziplinäre Einführung, Bd. 29. Wiesbaden: Springer VS, S. 233–251.
- Guth, Dennis (2013): Berufspendler im Kontext (post)suburbaner Raumentwicklung: Trends seit 1970. Dissertation. TU Dortmund, Dortmund. Fakultät Raumplanung.
- Hewson, Paul (2004): Deprived children or deprived neighbourhoods? A public health approach to the investigation of links between deprivation and injury risk with specific reference to child road safety in Devon County, UK. In: *BMC public health* 4, S. 15. DOI: 10.1186/1471-2458-4-15.
- Holz-Rau, Christian; Prior, Melina; Faller, Inga; Wachter, Isabelle (2020): Verkehrssicherheit im Städtevergleich – Safety in Numbers in Deutschland? In: *Straßenverkehrstechnik* 64 (4), S. 223–234.
- Holz-Rau, Christian; Scheiner, Joachim (2009): Verkehrssicherheit in Stadt und (Um-)Land: Unfallrisiko im Stadt-Land-Vergleich. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 55 (4), S. 171–177.
- Holz-Rau, Christian; Scheiner, Joachim (2013): Geographical patterns in road safety. Literature review and a case study from Germany. In: *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 13 (2), S. 99–122.
- Jacobsen, P. L. (2003): Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. In: *Injury prevention: journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention* 9 (3), S. 205–209. DOI: 10.1136/ip.9.3.205.
- Kahl, H.; Dortschy, R.; Ellsäßer, G. (2007): Verletzungen bei Kindern und Jugendlichen (1–17 Jahre) und Umsetzung von persönlichen Schutzmaßnahmen. Ergebnisse des bundesweiten Kinder- und Jugendgesundheitsumfrage (KiGGS). In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 50 (5–6), S. 718–727. DOI: 10.1007/s00103-007-0233-7.
- Klein, Ralf; Löffler, Günter (2001): Unfälle im Straßenverkehr. In: Alois Mayr, Sabine Tzschaschel, Günter Heinritz, Klaus Wolf, Christoph Becker, Jürgen Deiters und Hubert Job (Hg.): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Freizeit und Tourismus. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 134–135.
- Kroj, Günter; Schulze, Horst (Hg.) (2017): Das Unfallrisiko junger Fahrerinnen und Fahrer. Ursachen und Lösungsperspektiven. Zweite Internationale Konferenz „Junge Fahrer und Fahrerinnen“. BAST; Abteilung Verhalten und Sicherheit im Verkehr.
- Laflamme, L.; Diderichsen, F. (2000): Social differences in traffic injury risks in childhood and youth—a literature review and a research agenda. In: *Injury prevention: journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention* 6 (4), S. 293–298. DOI: 10.1136/ip.6.4.293.
- Leden, Lars (2002): Pedestrian risk decrease with pedestrian flow. A case study based on data from signalized intersections in Hamilton, Ontario. In: *Accident Analysis & Prevention* 34 (4), S. 457–464. DOI: 10.1016/S0001-4575(01)00043-4.
- Lee, Chris; Abdel-Aty, Mohamed (2005): Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections in Florida. In: *Accident; analysis and prevention* 37 (4), S. 775–786. DOI: 10.1016/j.aap.2005.03.019.
- Meewes, V. (1984): Sicherheitsdefizite in Städten und Gemeinden. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Innerörtliche Verkehrssicherheitsmaßnahmen. Beispiele für die Wirksamkeit. Bergisch Gladbach (49), S. 6–17.
- Neumann-Opitz, Nicola; Bartz, Rita; Leipnitz, Christine (2012): Kinderunfallatlas. Regionale Verteilung von Kinderverkehrsunfällen in Deutschland. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach (Mensch und Sicherheit, Heft M 232).
- Noland, Robert B.; Quddus, Mohammed A. (2004): A spatially disaggregate analysis of road casualties in England. In: *Accident; analysis and prevention* 36 (6), S. 973–984. DOI: 10.1016/j.aap.2003.11.001.
- Petch, R.O.; Henson, R.R. (2000): Child road safety in the urban environment. In: *Journal of Transport Geography* 8 (3), S. 197–211. DOI: 10.1016/S0966-6923(00)00006-5.
- Reinecke, Jost (2005): Strukturgleichungsmodelle in den Sozialwissenschaften. München: Oldenbourg.
- Scheiner, Joachim; Holz-Rau, Christian (2011): A residential location approach to traffic safety: two case studies from Germany. In: *Accident; analysis and prevention* 43 (1), S. 307–322. DOI: 10.1016/j.aap.2010.08.029.
- Schüller, H. (2011): Geschwindigkeiten und Unfälle auf Stadtstraßen. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 57 (4), S. 181–186.
- Schulze, Horst (1999): Lebensstil, Freizeitstil und Verkehrsverhalten 18–34-jähriger Verkehrsteilnehmer. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach (Mensch und Sicherheit, M 103).
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (12.07.2016): Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2015. Wiesbaden.
- Urban, Dieter; Mayerl, Jochen (Hg.) (2018): Angewandte Regressionsanalyse. Theorie, Technik und Anwendung. 5., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer VS (Studienskripten zur Soziologie).
- Vandenbulcke, Grégory; Thomas, Isabelle; Geus, Bas de; Degraeuwe, Bart; Torfs, Rudi; Meeusen, Romain; Int Panis, Luc (2009): Mapping bicycle use and the risk of accidents for commuters who cycle to work in Belgium. In: *Transport Policy* 16 (2), S. 77–87. DOI: 10.1016/j.tranpol.2009.03.004.
- Weiber, Rolf; Mühlhaus, Daniel (2014): Strukturgleichungsmodellierung. Eine anwendungsorientierte Einführung in die Kausalanalyse mit Hilfe von AMOS, SmartPLS und SPSS. [Place of publication not identified]: Gabler; Springer Berlin Heidelberg.
- Zwerling, C.; Peek-Asa, C.; Whitten, P. S.; Choi, S.-W.; Sprince, N. L.; Jones, M. P. (2005): Fatal motor vehicle crashes in rural and urban areas: decomposing rates into contributing factors. In: *Injury prevention* 11 (1), S. 24–28. DOI: 10.1136/ip.2004.005959.